



Температурно-тепловой график

Для решения поставленной задачи был проведен термодинамический анализ процесса охлаждения металла после проката и нагрева теплоносителей. Из графика видно, что охлаждающие теплоносители (вода и высококипящие) воспринимают всю теплоту на уровне 100 и 540 °C. При этом наблюдается значительная потеря температуры. Если организовать теплообмен таким образом, что в термодинамически идеальной системе теплоноситель мог

бы воспринимать всю теплоту и всю температуру, то появилась бы возможность полезно использовать высокопотенциальное тепло для нагрева материала входящего в процесс прокатки (металлического сляба).

В итоге проведенного исследования было оценено количество металла, которое может быть нагрето от температуры окружающей среды до 900 °C перед нагревательной печью. По результатам расчета при охлаждении 1 т проката возможно нагреть 0,35 т металла. При этом экономия условного топлива составит порядка 6,83 кг/т.

Таким образом, принцип технологической регенерации позволяет использовать вторичные энергетические ресурсы для возвращения их в процесс, повышая его эффективность.

Библиографический список

1. Захаров Р.В., Гордеева И.С., Матвеев С.В. Исследование возможности утилизации теплоты готового проката // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всерос. студ. олимпиады, науч.-практ. конференции с международным участием и выставки работ студентов, аспирантов и молодых учёных, 18-21 декабря 2012. Екатеринбург: УрФУ, 2012. С. 78-80.

НАСТРОЙКА ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ НАД ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ ЦИЛИНДРОМ

Зиганишин А.М., Горохова А.Ю., Мингазеева Д.Н.
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
amziganshin@kgasu.ru

При проектировании систем отопления часто в качестве отопительных приборов используются, так называемые, гладкотрубные регистры, т.е. несколько (обычно от двух до четырех) горизонтальных труб, расположенных друг над другом в ряд. При этом используются данные о теплоотдаче таких

трубопроводов, приведенные в специальной инженерной литературе, например в [1, 2], диаметры применяемых трубопроводов в которых обычно ограничены 100 мм, а влияние одного цилиндра на другой при определении теплоотдачи учитывается эмпирически определенным коэффициентом. Данные коэффициенты найдены для фиксированного расстояния между трубами. На практике гладкотрубные регистры не являются стандартным изделием заводского изготовления, и поэтому часто их конструируют на месте. При этом используются конструкции из трубопроводов большего чем 100 мм диаметра, и расстояние между трубопроводами может быть различным, в том числе зависеть от места установки прибора. Кроме того, отсутствуют данные о характеристиках конвективного течения, возникающего над таким прибором, в то время как этот вопрос весьма актуален при решении вопроса о защите помещения от ниспадающих вдоль наружных ограждений (окон, стен) токов холодного воздуха.

Все это приводит к применению приблизительных методик расчета, а также не учету многих важных факторов, и в итоге к неверному определению необходимой площади нагрева отопительных приборов, и соответственно либо к удорожанию системы и перерасходу тепловой энергии, либо к невыполнению нормативных требований по обеспечению микроклимата на рабочем месте.

Аналитическое решение такой задачи чрезвычайно затруднено, поскольку течение, возникающее над отопительным прибором, турбулентно. Натурный эксперимент ограничен, с точки зрения затрат материальных ресурсов, при создании большого количества моделей, а также с точки зрения погрешностей при проведении измерений. Всех этих недостатков лишен численный эксперимент, позволяющий при помощи вычислительного комплекса смоделировать большое количество геометрически разных вариантов, а также провести подробное изучение полей необходимых параметров – скорости, давления, температуры и т.д. Основной проблемой при численном моделировании является верификация численной схемы решения – набора математических и физических моделей, граничных и начальных условий, использование которых приводит к наиболее адекватному результату. Обычно верификация состоит в решении аналогичной, но более простой и поэтому более досконально и достоверно исследованной задаче, и дальнейшем сравнении получаемых результатов с известными данными.

В работе численно решается задача о свободно-конвективном течении и теплоотдаче одиночного горизонтального цилиндра, расположенного в неограниченном пространстве. Задача решается в турбулентной постановке при помощи расчетного комплекса, реализующего методы вычислительной гидродинамики (ВГД, CFD) – Ansys Fluent.

Исследуется влияние используемых при решении моделей турбулентности и пристеночных функций на теплоотдачу одиночного горизонтального цилиндра. Было проведено решение ряда вариантов задач с использованием разного сочетания моделей турбулентности и пристеночных функций, имеющихся в распоряжении у комплекса Fluent.

Задача решается в плоской постановке, расчетная область представляет собой прямоугольник шириной 2 м, и высотой 4 м, в котором по ширине – посередине, и на высоте 1 м расположена окружность диаметром 108 мм, модели-

рующая нагретый цилиндр. Границы области проницаемы как для течения воздуха, так и для излучения от цилиндра. Окружность моделируется как непроницаемая твердая стенка, на которой задан равномерный тепловой поток $q=1000 \text{ Вт/м}^2$. Для учета излучения использовалась модель «Дискретных ординат».

Для сравнения получаемых результатов использовалась известная критериальная зависимость для теплоотдачи горизонтального цилиндра [3]:

$$\overline{Nu}_{кр} = 0,47 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,25} \text{ при числах } 10^4 < Ra < 10^9.$$

Здесь необходимо отметить, что нужно различать режим течения непосредственно в погранслое, который определяет теплоотдачу от трубы и может быть как ламинарным, так и турбулентным, и течение в струе, которое при обычных размерах, встречающихся в практике строительства и проектирования отопления и вентиляции зданий, практически всегда имеет турбулентный характер.

На первом этапе, путем последовательного измельчения сетки проводилось обеспечение сеточной независимости, т.е. независимости получаемых результатов от мелкости расчетной сетки. Для этого был решен ряд задач с последовательным измельчением сетки во всей расчетной области и уменьшающимися к центру столбцами (от размеров минимальной ячейки $\sim 2 \text{ мм}$, до $\sim 0,1 \text{ мм}$) для лучшего разрешения области, в которой развивается основное течение, а затем в области максимального изменения параметров – вокруг цилиндра (до размеров ячейки $\sim 0,01 \text{ мм}$). При этом контролировалась осевая продольная скорость конвективного течения, а также коэффициент теплоотдачи. Отличие этих параметров в двух последних задачах (на максимально мелкой сетке) не превышало 0,8 % для осевой скорости и 3,5 % для коэффициента теплоотдачи.

Далее с использованием найденной сетки проводился расчет вариантов сочетания различных моделей турбулентности и пристеночных функций. Вычислительный комплекс Fluent дает возможность применять различные модели турбулентности, из наиболее универсальных это три разновидности k-ε модели: “Standard”, “RNG”, “Realizable” и три варианта пристеночного моделирования – “Standard Wall Functions” (SWF), “Nonequilibrium Wall Functions” (NWF), “Enhanced Wall Treatments” (EWT). При решении выяснилось, что использование расширенного пристеночного моделирования (EWT) и “Realizable” разновидности модели турбулентности не приводит к сходящемуся решению, т.е., по-видимому, требует более точной настройки параметров математического алгоритма итерационного процесса. Поэтому в данной работе результаты получены только для двух разновидностей пристеночных функций – стандартных (SWF) и неравновесных (NWF) и k-ε модели турбулентности – “Standard” и “RNG”.

В результате решения задач находилась средняя по поверхности температура стенки цилиндра t_{cm} , которая затем использовалась для определения числа Рэлея (Ra):

$$Ra = Gr \cdot Pr = \frac{g \cdot \beta (t_{cm} - t_{\infty}) \cdot d^3}{\nu \cdot a},$$

здесь Gr и Pr – критерии Грасгофа и Прандтля; g – ускорение свободного падения; β , ν , α – коэффициенты расширения, кинематической вязкости и теплопроводности воздуха (взяты при температуре погранслоя); t_∞ – температура подтекающего воздуха; d – диаметр трубы. Кроме этого из решения находится лучистая составляющая теплового потока Q_λ , что позволяет определить и конвективную долю Q_κ , а значит и средний критерий Нуссельта:

$$\overline{Nu}_{Fl} = \frac{Q_\kappa \cdot d}{F(t_{cm} - t_\infty) \cdot \lambda},$$

здесь F – площадь поверхности цилиндра; λ – коэффициент теплопроводности воздуха.

Далее в таблице приведены значения относительной разницы величины критерия Нуссельта, определенного по критериальной формуле ($\overline{Nu}_{кр}$) и численно

Вариант решения		$\Delta \overline{Nu}$, %
k-ε “Standard”	SWF	0,97
	NWF	-23,28
k-ε “RNG”	SWF	1,30
	NWF	-25,42

ленно

$$(\overline{Nu}_{Fl}): \Delta \overline{Nu} = 100\% \cdot (\overline{Nu}_{кр} - \overline{Nu}_{Fl}) / \overline{Nu}_{кр}.$$

Видно, что наиболее близкие результаты дает использование стандартных пристеночных функций.

Библиографический список

1. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч. 1. Отопление / Под ред. И.Г. Старовойтова и Ю.И. Шиллера. 4-е., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1990. 344 с.
2. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Кн. 1. Отопление и теплоснабжение / Р. В. Щекин и др. Киев: Будивельник, 1976. 416 с.
3. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров / Х. Уонг: Пер. с англ. / Справочник. М.: Атомиздат, 1979. 216 с.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ В МЕСТНОМ ОТСОСЕ В ВИДЕ КРУГЛОГО РАСТРУБА

Зиганшин А.М., Хакимзянов Р.Р.

Казанский государственный архитектурно-строительный университет
amziganshin@kgasu.ru

В системах вентиляции, и, в частности, в местной вытяжной вентиляции затрачивается большое количество энергии на перемещение воздуха по каналам. Большая доля этих затрат приходится на преодоление местных сопротивлений возмущающих элементов в сети, и в том числе сопротивление, возникающее на входных участках. При подтекании воздуха к местному отсосу происходит отрыв потока с его острых кромок и образование вихревых зон и являющихся основной причиной потерь давления. Знание характеристик течения возникающего вблизи отсоса, а также очертаний вихревых зон позволит конструировать входные участки местных отсосов с пониженным коэффициентом местного сопротивления.

В представленной работе численно смоделировано течение к круглому (осесимметричному) раструбу. Для правильного моделирования течения в вихревой зоне, и канале после раструба задача решается в турбулентной постановке. При решении используется наиболее универсальная k-ε модель турбулент-